

2001年秋季極域・寒冷域研究連絡会の報告

日本気象学会秋季大会(岐阜)3日目(10月12日)のセッション終了後に、極域・寒冷域研究連絡会が学会B会場の未来会館ハイビジョンホールで行われた。出席者は約40名であった。今回は、平沢尚彦氏から南極第6期観測計画と南極へのアクセス方法に関する話題を提供していただいた。続いて「GAME/Siberiaから見るシベリアの水循環」と題して、東シベリアのタイガ域におけるプロットスケール(鉛直1次元)や領域スケール(数10 km)での大気-地表面間の熱・水収支や、同位体による水循環研究について、4名の方々にGAMEプロジェクトの最新の観測成果を交えて講演していただいた。以下に、各講演者から寄せられた要旨を紹介する。略語は最後にまとめる。

世話人:

平沢尚彦(国立極地研究所)

本田明治(地球フロンティア研究システム)

中村 尚(東京大学理学部)

高田久美子(地球フロンティア研究システム)

阿部彩子(東京大学気候システム研究センター)

佐藤 薫(国立極地研究所)

浮田甚郎(メリーランド州立大学/米国航空宇宙局)

1. 南極第6期観測開始にあたって

「第6期5か年計画と南極へのアクセス方法の新展開」

平沢尚彦(国立極地研究所)

2002年2月から始まる第43次観測隊は南極第6期5か年観測の初年度となる。大気分野では、前半にADEOS-II衛星に搭載されるGLI(250 mデータ)受信及び地上検証を通して、南極域の気候と放射過程に関する研究観測を予定している。第6期の計画の中で主要項目となったのは、ILAS-IIの地上検証、大型気球による成層圏大気サンプリング、観測専用船による南極海の洋上及び昭和基地での大気・エアロゾルの観測を通して行われる物質循環に関する研究観測であ

© 2002 日本気象学会

る。特に、地球規模の大気循環に関連した研究成果に繋げて行くことを目標にしている。雪氷分野では、内陸ドームふじ観測拠点で、前回届かなかった基盤までの氷床掘削が行われる。

ケープタウン-南極大陸間のジェット機による人員輸送の試行が、2001年1月に国際プロジェクトとして行われ、日本もこれに参加した。南極大陸上では、2機の中型航空機を予め待機させ、東南極域の複数の基地をそれぞれ離着陸して訪問した。昭和基地へは天候が合わず、残念ながら着陸しなかった。ケープタウンからケープタウンへの全ての日程に要した時間は11日と、これまでの日本隊の南極観測の基盤を大きく変え得る結果を残した。しかしながら、天候との関係によるスケジュールの難しさや安全面での検討をこれから進めていく必要があるなど課題は多く、すぐに南極観測隊全員が航空機を利用することはないだろう。今後は、スケジュールに自由度が大きく、小人数のプロジェクト単位での航空機利用が具体的に検討されていくことになるのであろうか。

2. 特集「GAME/Siberiaから見るシベリアの水循環」

2.1 「GAME/Siberiaの概要」

太田岳史(名古屋大学大学院生命農学研究所/地球観測フロンティア研究システム)

GAME/Siberiaでは、1)大気/陸面相互作用システムの物理過程を明らかにすること、2)領域スケールでのエネルギー・水循環の特性と変動を明らかにすること、3)過去50年の気候トレンドと地表面状態の変動を決定し、フィードバック機構を評価すること、4)モデルを改良すること、を目的として、レナ川流域に3観測地域を設け、1996年より観測を行っている。この間、1998年には陸面過程に関するIOP、2000年には航空機観測を中心としたIOPが実施されてきた。ここでは、ヤクーツク近郊・スパスカヤパッドでの観測結果を報告する。

2.2 「東シベリア・カラマツ林での熱・水循環の年々変動とカラマツ、アカマツ林での熱収支特性の相違」

太田岳史 (名古屋大学大学院生命農学研究科/地球観測フロンティア研究システム)

2.2.1 カラマツ林における樹冠上熱収支の季節変動と年々変動

ヤクーツク近郊・スパスカヤパッドでのカラマツ林サイトでは1998～2000年の結果が得られている。本サイトでは熱収支は閉じておらず、顕熱・潜熱フラックスの和は有効放射量の約76%にとどまっている。カラマツ林では融雪直後に土壤表面は非常に湿潤な状態になるが、潜熱は増加せず顕熱は開葉直前に最大値を示す。そして、5月下旬から6月上旬の開葉によって潜熱が急激に増加する。その結果、純放射量は6月下旬まで増加するにもかかわらず、顕熱は開葉により急激に低下する。その結果、ポエン比は早春期に高い値を示し、夏期に向かって低下する。この様な熱収支項の季節変動は1998～2000年を通じて変動していない。

また、1998年は乾燥年(5～8月降水量81 mm)、1999年は湿潤年(5～8月降水量235 mm)であり、土壤水分量はその影響を強く受けている。しかし、上層木蒸散量には大きな差はなく、むしろ乾燥年の1998年の蒸散量のほうが多い傾向を示した。これは、土壤水分が上層木蒸散量の規定因子とはなっておらず、大気側の条件のみによって規定されているためと考えられる。

2.2.2 アカマツ林における樹冠上熱収支の季節変動

ヤクーツク近郊・スパスカヤパッドでのアカマツ林サイトでは2000年暖候期のみ結果が得られている。本サイトでの熱収支は多くの場合ほぼ閉じているが、顕熱・潜熱フラックスの和が有効放射量を超える場合がある。この様な状態は風向が240～300°の場合に生じている。

熱収支項の季節変動では、顕熱、潜熱ともにカラマツ林とは異なる傾向を示す。顕熱はカラマツ林上のように6月上旬に急激に低下することなく、純放射量に追従し6月下旬にピークを示しその後緩やかに低下する。また、潜熱は5月上旬から50～100 W/m²の大きい値を示す(この時期のカラマツ林上では10～20 W/m²)。この結果、ポエン比は観測期間を通して1～2の安定した値を示す。

アカマツ林はカラマツ林よりも樹冠構造が疎であるため、林床に多くの短波放射が達し、林床面短波放射

量は樹冠上の値の約40%になる(カラマツ林では約30%)。また、土壤もカラマツ林より乾燥している。このため融雪後の永久凍土の融解がカラマツ林よりも早く、5月上旬には樹木が土壤水を利用できる状態にあった。また、アカマツは常緑であるために展葉に要する時間も必要ない。このように、林床での放射環境の違いに起因する凍土の融解の相違、樹木の特性の相違などによって春の潜熱フラックスに大きな違いが生じていると考えられる。

また、林床面での放射環境の相違は林床面からの蒸発散にも影響を与えている。カラマツ林では全蒸発散量の約35%が林床面蒸発散量であったが、アカマツ林では約50%を占めた。

今後は両サイトでの年々変動を明らかにするとともに、炭素循環の観測・解析も計画中である。

本会で発表の機会を与えて下さった世話人の方々に深く感謝いたします。

2.3 「1次元モデルによるエネルギー・水交換の推定と考察」

山崎 剛 (東北大学大学院理学研究科)

地表面と大気間のエネルギー・水交換を知るための1次元モデル(Yamazaki, 2001)をGAME/Siberiaのタイガ林観測地点に適用し、交換量の推定と問題点に関する考察を行った。モデルは森林、積雪、土壤の3つのサブモデルからなる。森林については植生層を2層に分けるタイプで、降雨遮断や樹体貯熱も考慮できる形にしてある。積雪は多層モデルで、層の数は積雪深に依存し、少雪寒冷域で卓越して特異な物理特性を持つしもぎらめ雪を考慮できる。土壤モデルはやはり多層タイプで、液体水の移動をごく最近加えた。モデルへの入力には森林上の気象データ、出力は顕熱・潜熱フラックス、植生、積雪、土壤の温度などである。適用した地点はレナ川兩岸のカラマツ林と左岸のアカマツ林である。気孔関係のパラメータは暫定的に98年の左岸カラマツ林にそろえている。

結果として、交換量の日変化、季節変化の概略は再現できた。しかし、以下の問題点が明らかになった。

1) 融雪直後の蒸発の過大評価、2) いわゆるフラックスのインバランス問題、3) 早期消雪。1)は土壤水分変動を加えた際に、林床の蒸発効率を裸地面に使われる表層土壤水分の関数を使ったことによる。実際にはタイガ林では、林床の落葉やコケモモの効果が効くので、工夫しなければならない。2)は観測値がい

わゆる熱収支式を満足しないことを指す。1次元モデルは熱収支式を前提に作られているので、比較が難しい。3)は数日程度消雪が早い。この傾向は積雪モデルの国際比較(SnowMIP)への適用でも同様であった。このモデルの特性である可能性が強く、早急に原因を調べる必要がある。

2.4 「航空機観測から得られた東シベリアの大気境界層構造の季節変動」

檜山哲哉(名古屋大学・地球水循環研究センター/
地球観測フロンティア研究システム)

東シベリアの水文気象学的な特徴として先ず我々が思い浮かべるものは、何と言っても「永久凍土」であろう。大気場の季節進行は地温の明瞭な季節変化をもたらす。地表層には夏期に活動層(永久凍土の融解した層)が形成される。活動層の形成は、カラマツ林に代表されるタイガ林の生育を可能とし、陸域表層に「明瞭な生物季節」をもたらしている。一方、当地域では夏期の日中、顕熱・潜熱フラックスの増加により大気が不安定となり、対流雲(積雲・積乱雲)が発達する。総観規模的な水蒸気の移流の状況次第では、積乱雲はタイガに降雨をもたらすことがしばしばある。対流雲の発達にはタイガ林が地表を覆う割合や分布形態、あるいはレナ川等の大河川(河川敷はほとんど草地や水面に覆われている)による森林-草地系の地表被覆の空間分布形態(コントラスト)が大きく関わっている。このように考えてみると、当地域の水文気象学的特徴として、「メソスケール循環による対流雲の発達」も取り上げることができよう。

地表被覆のコントラストに起因した地表面フラックスのコントラストはどの程度強く、それがどのように大気境界層構造を変化させ、どのようなメカニズムで対流雲の発達と関わっているのかを調べるために、2000年の融雪期～夏期にかけて、航空機を用いた大気境界層の変動に関する集中観測を行った。本講演はその第一次解析結果の紹介である。

地表面フラックスの空間分布を得るために行ったgrid runからは、森林帯内に多数存在しているアラスと呼ばれる草地に起因したフラックスのコントラストがあまり明瞭でなかった反面、レナ川河川敷と森林とのコントラストに起因したフラックスのコントラストが非常に明瞭に現れていた。飛行高度は地表面上100mと150mであったため、前者の原因としては、1~2kmスケールでの地表被覆のコントラストは高度100mま

では影響が出ず、blending height(混合高度)がこの高さ以下に存在していたことが推測できる。一方後者からは、10~20kmスケールでの地表被覆のコントラストは大気境界層構造を大きく変化させ、これがフラックス分布に影響を及ぼしたことがわかる。この結果は、他の地域(フランス森林帯やカナダ北方林帯)での従来の研究(Shuttleworth, 1988; Sun *et al.*, 1997; Mahrt, 2000等)とも一致している。

レナ川を挟んだ東西100kmのライン観測(regional run)からは、温位・比湿・CO₂濃度等のスカラー量とそれらのフラックスの大気境界層内での鉛直分布(高度100~1500mまでの鉛直分布)が得られた。これらを地表面温度のライン分布と比較した結果、地表面温度のコントラストが森林・草地・河川において小さい場合(融雪期~落葉樹の開葉前)には温位等のスカラーの空間(水平・鉛直)分布に大きな差異が無かった反面、地表面温度のコントラストが大きい夏期には明らかに森林と河川との間に、スカラー量の明瞭な空間分布がみられた。ただし、地表面温度のコントラストが大きくとも、一般風が強い場合にはこの限りではなかった。これは、大気の安定度の強弱が、スカラー量とそのフラックスの空間分布を決定していることに起因していた。これらの解析から、混合層下部(または接地境界層上部)での顕熱フラックス、運動量フラックス(摩擦速度)、および温位を用いた熱的内部境界層(Thermal Internal Boundary Layer)の存在の有無を判別できる簡単なパラメータを示した。加えて、地表面状態の季節進行にともなう大気境界層構造の変化を、大気安定度と地表面フラックス、および地表被覆のコントラストと関連付けて概念的に示した。

航空機観測からは大気境界層構造やフラックスの空間分布が理解できた一方で、境界層内での水平熱フラックスの見積が可能となった。混合層下部と上部において水平熱フラックスが大きくなる傾向にあったが、この結果は、地表面熱収支のimbalanceに対するメソスケール循環の寄与として考えることができようである。

なお、2000年の東シベリアでの航空機観測の概要については、檜山ほか(2001)やHiyama and Strunin(2001)に記述してある。また、観測から得られた第一次解析結果については、Hiyama *et al.*(2001)やStrunin *et al.*(2001)に掲載したので、そちらも参照されたい。

2.5 「水同位体比からみた東シベリアの水循環」

杉本敦子（京都大学生態学研究センター）

水の安定同位体は自然界で様々なスケールの水の追跡に利用することができる。東シベリアは、年降水量わずか213 mmの乾燥した気候にありながら、落葉性の針葉樹（カラマツ）が優占するタイガ林が広大な面積を占めて広がっている。連続永久凍土帯という特殊な水循環様式が乾燥した気候帯に森林が存在することを可能にしていると考えられる。このような東シベリアは、偏西風帯としては最も内陸（東の奥）に位置するため、水蒸気ソースの海から最も遠い陸地であると言える。このような内陸部では、蒸発散がさかんな夏季には降水の再循環が卓越すると予想される。その様子を1998、1999、2000年の夏の観測で得られた水同位体比の観測結果から紹介した。

降水の同位体比（ $\delta^{18}\text{O}$ 、 δD で表わされる）は降水の過程で、重い同位体がより多く降水粒子に取り込まれるため、軽い同位体が内陸へ多く輸送され、降水の同位体比は内陸部に向かって低くなる。しかしながら、もし内陸部で、いったん降水として落ちた水が蒸発散により大気に戻ると、内陸部へ向かっての同位体比の低下はおさえられる。ヤクーツクの降水の酸素、水素同位体比は冬に極めて低い値を示すが、夏は高緯度・内陸であることから予想される値よりもはるかに高い値を持っている。また、 d 値（ $d = \delta\text{D} - 8\delta^{18}\text{O}$ で定義される）も夏の降水では、通常見られる値（約10）よりかなり低い値となっている。これらの結果は、冬には降水が再循環されることなく水蒸気が内陸部に輸送されるのに対し、夏は降水が再循環されることにより、内陸に向かっての同位体比の低下がおさえられていることを示している。

実際に再循環されて大気に戻る水の水同位体比は、土壌水と植物中の水の水同位体比から見る事ができる。また、それらの比較は、植生がどのような水を利用しているかを知る重要な手がかりにもなる。土壌水と植物中の水は、夏の降水量により大きな違いが見られた。1998年の夏は6～8月の3か月間の降水量がわずか42 mmで、干ばつ年であった。このとき、土壌水の $\delta^{18}\text{O}$ は永久凍土の活動層の最下部の水（と氷）の同位体比に近い-24‰に近づき、凍土の氷の融け水が上部へ輸送されたことを示していた。植物中の水も-21‰でこれに近い値を示し、凍土の融け水の寄与が大きいことを示している。一方、1999年は多雨年で、土壌水および植物中の水は夏の降水の $\delta^{18}\text{O}$ に近づき、降水が植

物を通して大気に戻っている様子がうかがえる。

2000年の夏の観測では、水蒸気の水同位体比の観測も実施できた。水蒸気の水同位体比の変動のトレンドは降水のそれに傾向が類似していた。また、土壌水や植物中の水の変化ともトレンドは似ており、再循環系の水同位体比が全体として季節内で変化していると考えられる。

謝 辞

本会の開催に当たって、大会実行委員会、講演企画委員会には大変お世話になりましたので、お礼申し上げます。また、講演を快く引き受けていただきました諸氏に感謝申し上げます。

略語一覧

ADEOS-II : Advanced Earth Observing Satellite II
 GAME : GEWEX Asian Monsoon Experiment
 GEWEX : Global Energy and Water Cycle Experiment
 GLI : Global Imager
 ILAS-II : Improved Limb Atmospheric Spectrometer II
 IOP : Intensive Observation Period
 SnowMIP : Snow Models Intercomparison Project

参 考 文 献

- Hiyama, T. and M. Strunin, 2001 : Aircraft observations over Yakutsk Region in Intensive Observation Period (IOP) 2000, Activity report of GAME-Siberia, 2000 (GAME Publication No. 26), 45-50.
 檜山哲哉, M. Strunin, 鈴木力英, 浅沼 順, 杉本敦子, 大畑哲夫, 2001 : 東シベリア・ヤクーツク周辺地域における航空機観測の概要, 2000年度 GAME 研究成果報告 (GAME 国内研究集会発表要旨集 : GAME Publication No. 27), 53-56.
 Hiyama, T., M. A. Strunin, J. Asanuma, M. Yu. Mezrin, R. Suzuki and T. Ohata, 2001 : Flux distributions of heat and carbon dioxide in the atmospheric boundary layer over non-homogeneous surface in Eastern Siberia, Proceedings of the Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME, Nagoya, Japan, 307-314.
 Mahrt, L., 2000 : Surface heterogeneity and vertical structure of the boundary layer, Bound.-Layer Meteor., 96, 33-62.
 Shuttleworth, W. J., 1988 : Macrohydrology-The new

challenge for process hydrology, *J. Hydrol.*, **100**, 31-56.

Strunin, M. A., T. Hiyama and J. Asanuma, 2001 : Development of the thermal internal boundary layer and spectral characteristics of turbulence in convective boundary layer over non-homogeneous terrain, *Proceedings of the Fifth International Study Conference on GEWEX in Asia and GAME*, Nagoya, Japan, 709-714.

Sun, J., D. H. Lenschow, L. Mahrt, T. L. Crawford, K. J. Davis, S. P. Oncley, J. I. MacPherson, Q. Wang, R. J. Dobosy and R. L. Desjardins, 1997 : Lake-induced atmospheric circulations during BOREAS, *J. Geophys. Res.*, **102**, 29155-29166.

Yamazaki, T., 2001 : A one-dimensional land surface model adaptable to intensely cold regions and its applications in Eastern Siberia, *J. Meteor. Soc. Japan*, **79**, 1107-1118.

==== 編集委員会だより ====

「学位論文紹介」投稿のお願い

「天気」では毎年、過去3年度の間の大気科学に関する博士および修士論文の紹介を行っています。以下の要領に従って奮って投稿していただくようお願いいたします。

1. 個人からの投稿及び研究室等からの一括投稿のいずれも受け付けます。一括投稿の場合の代表者は教官でなくとも結構です。
2. 対象論文は過去3年度の間（今回は1999年4月1日から2002年3月31日まで）、修士あるいは博士の学位が授与された大気科学に関する論文とします。外国の大学・大学院から授与されたものも対象に含めますが、すでに「天気」の学位論文紹介欄に掲載された論文は除外します。
3. 投稿者は5月31日までに、氏名、連絡先、電話番号、電子メールアドレスまたはFAX番号、及び、
 - (1) 大学・大学院・研究所・専攻名、
 - (2) 学位取得の年・月、
 - (3) 博士論文（論文博士）・博士論文（課程博士）・修士論文の別、
 - (4) 著者名およびフリガナ、
 - (5) 論文題名（外国語論文の場合は原題名及びあれば和訳名）、

上記5項目を明記の上、担当委員まで電子メール（ohfuchi@jamstec.go.jp）、または郵便（〒100-0004 東京都千代田区大手町1-3-4、気象庁内、日本気象学会「天気」編集委員会学位論文担当）で送付して下さい。送り状は不要です。論文題名などにおいて、イタリック体や上付きまたは下付き文字などがある場合、必要ならば括弧内の註として指定して下さい。著者名は投稿された通りにフリガナによって50音順に記載しますので、姓・名の順番などに気をつけて下さい。また、一括投稿の場合、複数の論文で上記の項目(1)~(3)が同じときは2番目以降の論文でそれらの項目を省略しても結構です。その際、著者名が50音順になるように記載して下さい。なお、編集の効率化のために、なるべく電子メールを使うようお願いいたします。

4. 投稿者に対する原稿受領の連絡と、記事内容の確認が必要な場合の問い合わせは、電子メール、やむを得ない場合は他の方法により担当編集委員が行います。投稿後1か月を経ても連絡がない場合は、投稿先に問い合わせるようお願いいたします。